

Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle

Francisca Muñoz^{1,a}, Elizabeth Valencia^{2,b}, Henry Giovany Cabrera-Castillo^{3,c}

¹ Liceo Bicentenario de Excelencia San Pedro. Chile

² Colegio Sagrado Corazón de Jesús de la Reina. Chile

³ Área de Educación en Ciencias y Tecnología, Universidad del Valle. Colombia

^a fdmunoz3@uc.cl, ^b mivalencia@uc.cl, ^c henry.g.cabrera.c@correounivalle.edu.co

[Recibido en marzo de 2016, aceptado en noviembre de 2016]

Uno de los principales aportes que ofrece la Historia y Filosofía de las Ciencias es acudir a los Textos Científico-Históricos. En este sentido, el análisis de éstos se convierte en una herramienta fundamental para identificar el lenguaje, las preguntas, los propósitos, instrumentos y problemas de los científicos y científicas en una época determinada. Frente a esto, los dos propósitos de este trabajo son, primero, analizar el experimento V diseñado y elaborado por Robert Boyle para problematizar la conservación de la llama bajo el agua, segundo, diseñar una intervención didáctica, acudiendo al uso de Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras desde un enfoque histórico.

Palabras clave: análisis de textos científico históricos; historia y filosofía de las ciencias; situaciones científicas escolares problematicadoras; enseñanza de la química.

Scientific School problematizing situations from the analysis of the experiment V of Robert Boyle

One of the main contributions offered by History and Philosophy of Science is the employment of Historical Scientific Texts. This kind of analysis becomes a fundamental tool to identify the language, questions, purposes, tools and problems of scientists at some time in history. Hence, the two purposes of this paper are, first, to analyze experiment V designed and developed by Robert Boyle where conservation of flame under water were problematized, second, to design an educational intervention resorting to the use of the Scientific School Problematicizing Situations from a historical approach.

Keywords: historical analysis of scientific literature; history and philosophy of science; scientific school problematizing situations; teaching chemistry.

Para citar este artículo: Muñoz, F.; Valencia, E.; Cabrera, H. G. (2017) *Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras a partir del análisis del Experimento V de Robert Boyle*. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14 (1), 115–125. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/10498/18850>

Introducción

Las interrelaciones entre Historia y Filosofía de las Ciencias (HFC) y la Didáctica de las Ciencias favorecen el cambio de visiones que tradicionalmente se ofrecen de las ciencias (Fernández, Gil, Carrascosa, y Cachapuz, 2002); la selección de contenidos científicos (Zuluaga, 2012) y la reivindicación del rol de la mujer (Solsona, 2015). La mayoría de los trabajos en HFC se ha fundamentado a partir del análisis de Textos Científicos Históricos (TCH) como fuente invaluable de datos para el desarrollo de propuestas y aportes para la enseñanza de las ciencias (Cabrera y Quintanilla, 2014; Stiefel, 1996). Un ejemplo de esos aportes, es la inclusión de la HFC como un recurso para la elaboración de materiales didácticos, tales como unidades didácticas con un enfoque histórico o pasajes históricos que generen Situaciones Científicas Escolares Problematicadoras (SCEP) (Camacho y Quintanilla, 2008).

De acuerdo a lo anterior, este trabajo se enmarca en el análisis de TCH desde una mirada educativa para identificar datos históricos concernientes a procedimientos experimentales,

instrumentos científicos, fenómenos, hechos científicos, modelos, problemas y un sin número de eventualidades que puedan recontextualizarse en los contextos actuales (Ayala, 2006); y posteriormente en el uso de las *SCEP* cuya finalidad está orientada hacia la resolución de problemas por parte de los estudiantes (Couso y López, 2005; Garritz y Talanquer, 2012; Martín-Díaz, 2013). Las *SCEP* deben ser comprendidas como una “competencia básica que ha de ser desarrollada sistemáticamente en los planes de estudio de manera intencionada didácticamente mediante la cual se logrará construir conocimiento” Camacho y Quintanilla (2008, pp. 199). Estos últimos investigadores establecen que el uso de las *SCEP* en la enseñanza de las ciencias en general y de la química en particular, será significativo y relevante para la disciplina científica que se enseña, en la medida que se acuda a la problematización de los contextos científicos, y promoverán procesos reflexivos factibles de ser enfrentados por los estudiantes de manera similar a como han sido abordados por los químicos históricamente.

Con lo que acabamos de presentar, este trabajo pretende alcanzar los siguientes propósitos: 1. Analizar el Experimento V diseñado y elaborado por Robert Boyle (1627 – 1691) para problematizar la mantención de la llama bajo el agua. 2. Diseñar una propuesta de intervención didáctica acudiendo al uso de *SCEP* desde un enfoque histórico.

Importancia de los *TCH*

Los *TCH* son documentos que incluyen libros, artículos, comunicaciones, cartas elaboradas por la comunidad científica y cuadernos de laboratorio de los científicos, donde se pueden percibir las incertidumbres de toda investigación experimental, alejando de esta forma la visión rígida del método científico, que reduce el proceso de generación del conocimiento científico, distanciándose de la forma en que realmente los científicos hacen ciencia (Bertomeu y García, 2008). La importancia de los *TCH* radica en que son fuente de información para dilucidar los hechos, los datos, las teorías, los procedimientos, los instrumentos y reconocer los presupuestos que los científicos hacen sin ser forzados, las teorías por las que se decantan y las que dejan a un lado (Stiefel, 1996, Cabrera, 2016).

De igual modo, a través de los *TCH* se pueden identificar las controversias científicas, las cuales son definidas por Raynaud (2003) como una disputa pública y persistente entre miembros de una comunidad científica, quienes argumentan de forma opuesta en torno a una interpretación de un determinado fenómeno. Al analizar las controversias se pone de manifiesto el carácter humano de la ciencia y el hecho de que la construcción de conocimiento es un problema en sí mismo, que está influido por el contexto político, social y económico de una época determinada (Moreno, 2006).

La enseñanza de la química a partir de *SCEP*

Los recursos docentes para la enseñanza y aprendizaje necesitan estar soportados en una estructura, una «trama» epistemológica, metodológica y contextual (Moreno, 2006). Un ejemplo de recurso de aprendizaje a utilizar en el aula de la clase de ciencias es la formulación de *SCEP*, donde se puedan promover Competencias de Pensamiento Científico (*CPCs*). Las *SCEP* deben tener la característica de ser problematizadoras, auténticas, promover procesos reflexivos en el sujeto que aprende y la posibilidad de ser abordadas de modo similar a cómo han sido abordados problemas similares en la Historia de la Ciencia, que se conjuguen como una nueva situación de aprendizaje (Camacho y Quintanilla, 2008).

Actualmente, existen diversas propuestas didácticas donde se utilizan *SCEP* para promover *CPCs*, por ejemplo, en la enseñanza de la química orgánica (Sepúlveda, González, Camacho y Quintanilla, 2010), en la enseñanza de la electroquímica (Camacho, 2011) y de la célula

eucarionte (Camacho, 2012). Encontrándose, en los últimos dos casos, evidencias que demuestra cuantitativamente la mejora en el desarrollo de la explicación científica en los estudiantes.

Por lo tanto, a través de estas *SCEP* se puede fomentar en los estudiantes el desarrollo de distintas *CPCs*, tales como descripción, definición, explicación, argumentación y justificación que podrían favorecer la conjugación entre el lenguaje de la ciencia, sus métodos y sus teorías. Con esto, la clase de ciencias deja de ser el sitio donde se transmiten conocimientos que otros han creado y pasa a ser un espacio de creación de conocimiento propio, donde todos y cada uno de los y las estudiantes son protagonistas.

Finalmente, de acuerdo a lo propuesto por Labarrere y Quintanilla (2002) cuando los estudiantes se enfrentan a un problema científico, por ejemplo, a través de una *SCEP*, intencionado por el profesorado, la resolución de éste puede llevarse a cabo desde tres planos de análisis. Estos planos son: (a) instrumental-operativo, cuando la resolución se centra en la teoría (fórmulas, cálculos, gráficos) y en el contenido, en las estrategias para resolverlo o en los procedimientos, en el “¿cómo resolver el problema?”; un (b) plano personal significativo, cuando la teoría ya no es lo principal, sino que los estudiantes se enfocan en sus experiencias previas e intenta relacionarlas con el objeto de estudio, dándole un sentido a la problemática, es decir, el foco está puesto en el “¿para qué resolver el problema?”; y finalmente el (c) plano relacional social (o cultural), cuando se producen situaciones de colaboración en la resolución del problema, donde los procesos comunicativos son esenciales.

Aspectos procedimentales: una propuesta de análisis de *TCH*

Teniendo en cuenta que uno de los propósitos de este trabajo estuvo orientado hacia el análisis del *TCH*, el estudio se adscribió a un enfoque interpretativo dentro de la metodología cualitativa (Latorre, del Rinón, y Arnal, 1996). El aspecto procedimental se ejecutó en dos fases las cuales incluían elementos que conformaron el procesamiento de análisis de los datos obtenidos a partir de los *TCH*: *pre-análisis* y *análisis* (ver Figura 1).

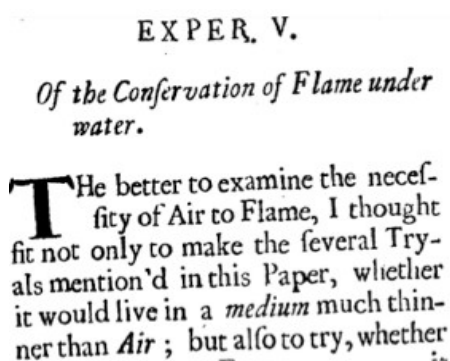


Figura 1. Procesamiento de análisis del *TCH*.

La fase de *pre-análisis* consistió en aproximarse y preparar el corpus de datos que iban a ser analizados, en este sentido, se inició con una lectura “superficial” para acercarse a la información contenida en el *TCH*, además, el experimento fue transcrito mediante un procesador de textos comercial (Word) para facilitar la lectura y elección de información para el análisis y sobre todo para poder realizar la traducción del mismo ya que existían términos y palabras que en la actualidad ya no son utilizadas en el medio académico ni científico (preparación del material). Lo anterior fue lo que conformó el corpus de datos. La Imagen 1 muestra una parte del texto original analizado.

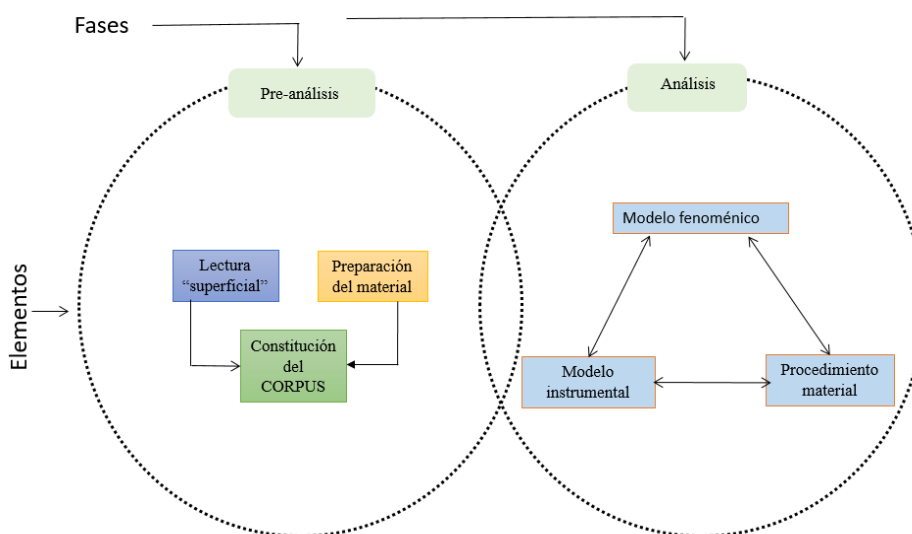


Imagen 1. TCH analizado (Experimento V de Boyle)

La fase de *análisis* tuvo en cuenta la perspectiva del análisis histórico crítico que ha sido utilizado en estudios de documentos originales elaborados por los científicos en una época determinada y cuyo propósito radica en establecer un diálogo con ellos para lograr construir desde una mirada educativa nexos con el conocimiento (Ayala, 2006; García, 2009). Procedimentalmente, se avanza hacia la identificación de los tres elementos estructurales que están presentes en la experimentación de acuerdo a Pickering (1989) los cuales deben entenderse de manera integrada y sin jerarquías, estos son:

- Un *procedimiento material* que corresponde a las acciones realizadas en el mundo material (disponer los aparatos y hacerlos funcionar adecuadamente).
- Un *modelo instrumental* enfocado en la comprensión conceptual del funcionamiento del aparato por parte del experimentador (diseño, realización e interpretación del experimento).
- Un *modelo fenomenico* dedicado a la comprensión conceptual de los aspectos del mundo fenomenico que están siendo estudiados por parte del experimentador.

Este aspecto procedimental ya ha sido puesto en práctica en otros trabajos (Cabrera y Quintanilla, 2014). Ahora bien, la razón por la que se utilizó esta perspectiva fue que existe la convicción de reivindicar la función de la experimentación en la construcción de conocimiento.

Resultados

En la didáctica de la química es común identificar, tanto en los profesores como en los libros de texto, algunas referencias que aluden a los aportes de Antoine Laurent Lavoisier (1743 – 1794) y lo catalogan como el padre de la química moderna, debido a los aportes inherentes al lenguaje de la química, el desarrollo de instrumentos y los procesos detallados de sistematización mediante los que describía la experimentación química que realizaba. Sin embargo, la indagación en textos de historia de la química, como los de Bensaude-Vincent y Stengers (1997); Brock (1998); Ihde (1984); Leicester y Klickstein (1952) y Leicester (1967) ha permitido reconocer y destacar que él no fue el único investigador que realizó aportes. Es por ello, que en la actualidad también se destaca la importancia de las contribuciones de Marie Meurdrac (1610 – 1680), Robert Boyle (1627 – 1691), John Mayow (1640 – 1679), Georg

Ernest Stahl (1659 – 1743), Émilie du Chatelet (1706 – 1749), Henry Cavendish (1731 – 1810), Joseph Priestley (1733 – 1804), Carl Wilhelm Scheele (1742 – 1786) y Marie Anne Pierrette Paulze (1758 – 1836) en el desarrollo de la química.

Cada uno de estos científicos y científicas plasmó sus interpretaciones y explicaciones teórico-experimentales por medio de los *TCH* que elaboraban y publicaban en los medios impresos que existían (anales, revistas, libros, monografías). Con el interés de ejemplificar el análisis y proponer implicaciones didácticas, a continuación, acudimos específicamente a la revisión del Experimento V descrito por Robert Boyle en 1673.

Pre-análisis del TCH

La lectura superficial permitió identificar que, en este *TCH*, Boyle pretendía describir la dificultad de preservar la llama sin aire y específicamente conservar la llama bajo el agua. Este interés emergió en un momento en el cual los trabajos que él realizaba estaban focalizados en el estudio de la combustión y la diversidad de efectos que podían identificarse a medida que realizaba ajustes y cambios de las condiciones del medio donde encendía los materiales combustibles.

Análisis del TCH

La presentación y descripción de cada uno de los tres elementos estructurales de este experimento irá acompañada de fragmentos originales tomados del *TCH*, con esto se pretende sustentar y complementar la información que se incluye.

Tradicionalmente la producción de conocimiento químico ha destacado exclusivamente la formulación de teorías, modelos y conceptos, y el experimento ha quedado limitada a la comprobación de lo anterior, sin embargo, a través del *TCH* analizado logramos identificar una articulación entre teoría y experimento, ya que Boyle continuamente entrelaza elementos procedimentales, materiales y explicaciones fenoménicas.

Fue significativo identificar el reconocimiento de aquellos trabajos que previamente habían realizado otros científicos, al respecto, Boyle (1673, p. 72) indicaba que “eminentes escritores, tanto antiguos como modernos, decían que la Nafta encendía bajo el agua”, aunque existían estas indagaciones él no las había comprobado así que decidió emprender un procedimiento material mediante el cual describía paso a paso cada una de las acciones que realizaba, las cantidades que requería de las sustancias y las características y cuidados que se debían tener para realizar el experimento y así lo presentaba:

“Tomé tres onzas de Pólvora, una dracma de Carbón quemado, una dracma y media de Salitre, estos ingredientes los reduje a polvo y mezclé ágilmente sin ningún líquido, además utilicé una pluma de Ganso, que corté, – en lugar de esta también se puede utilizar una Pipa de Tabaco de dos o tres pulgadas de largo – tapé en el extremo, su cavidad la llené con la mezcla, (en lugar de esta, la Pólvora macerada puede servir, siempre y cuando no reaccione con demasiada violencia, o demasiado pronto). El orificio abierto de la Pluma o la Pipa lo tapé cuidadosamente con una cantidad suficiente de la misma mezcla, hecha con un poco de Chymical Pyle o Agua, hasta producir una consistencia. El fuego-Salvaje se encendía en el aire, y la Pluma o Pipa, junto con un peso, al que até para que no ascendiera, fue lentamente colocada bajo el agua, donde continuó ardiendo, apareció esmog, y otras señales, como ocurría en el aire; la forma de la Pluma o la Pipa mantenían la mezcla seca en cualquier otra parte del Orificio superior; y allí el fuego se emitía con violencia, al igual que incesantemente rechazaba el agua cercana, y le impidió entrar en la cavidad que contenía la mezcla, y, por tanto, continuó ardiendo hasta que se consumió (Boyle, 1673, pp. 74–75)”.

En la cita anterior logramos identificar el uso de la pluma de ganso o la pipa de tabaco para albergar y aislar la mezcla de ingredientes, el agua como el medio que remplazaría el aire y que

a su vez funcionaría como la principal variable que introduciría en el experimento para verificar si era posible mantener encendida la llama y la mezcla de pólvora, carbón, salitre que correspondían a los ingredientes (como él los denominaba) que encendería. En otras palabras, se destaca que el modelo instrumental que Boyle había adquirido le permitía reconocer el funcionamiento de los instrumentos y el efecto de la reacción de los ingredientes cuando eran encendidos.

Boyle integró todo lo anterior a su modelo fenoménico, a través del cual, lograba elaborar las explicaciones de lo que ocurría. Una de las suposiciones que él tenía era que el aire era interceptado en los pequeños poros de la pólvora y el salitre, al respecto dice “aunque nuestra mezcla enciende bajo el agua, todavía no enciende sin aire, las cuales están siendo suplidas por las numerosas erupciones de las partículas aéreas del Nitro disipado...” (Boyle, 1673, pp. 76–77).

Esta explicación estaba mediada por el modelo de corpúsculos que él había logrado construir a partir de los fundamentos de la filosofía mecánico corpuscular mediante la cual consideraba que el fuego estaba formado por pequeños corpúsculos en movimiento que atravesaban los diferentes recipientes que contenían la mezcla combustible (Brock, 1998; Leicester y Klickstein, 1952).

Implicación didáctica: diseño de una propuesta de intervención didáctica basado en el uso de *SCEP*

La reflexión e interpretación desde una mirada educativa del análisis del Experimento V de Robert Boyle previamente presentada, permitió diseñar una propuesta de intervención en el aula para estudiantes de 12 – 13 años, pertenecientes al 7° básico del sistema escolar chileno. Es pertinente aclarar que en relación a la *identificación del problema científico* la pregunta que orientó las sesiones fue ¿Es posible mantener encendida la llama bajo el agua? Con esto se pretende establecer la importancia del estudio de la conservación de la llama bajo el agua como un fenómeno químico de la combustión, y fomentar explícitamente la *CPC* correspondiente a la explicación.

La *tipología o dimensión del problema* seleccionada incluyó contenidos conceptuales como combustión, gases, aire, combustible, comburente, nomenclatura química, reacción química; contenidos procedimentales como la observación de materiales de laboratorio, formulación de nuevas aplicaciones experimentales, caracterización de combustibles para realizar el experimento; y, contenidos actitudinales como los valores, integración grupal, establecimiento de relaciones sociales.

Debido al contexto educativo chileno, donde se aplicará la propuesta, inicialmente se formulan tres sesiones de 45 minutos y la participación de los estudiantes será a través del trabajo colaborativo informal, con el fin de que los estudiantes puedan analizar la *SCEP* propuesta a través del plano social-cultural, además de aumentar la seguridad en sí mismo, incentivar el desarrollo de pensamiento crítico, la capacidad de enfrentar la adversidad y las tensiones, fortalecer el sentimiento de solidaridad y respeto mutuo, a la vez que disminuye los sentimientos de aislamiento (Johnson y Johnson, 1999).

Sesión 1

El propósito de la sesión fue identificar ideas previas acerca del fenómeno de la combustión. Para ello, la actividad que se propuso consistió en la lectura del texto ¿Te imaginas una llama bajo el agua? el cual fue redactado tomando como base el análisis del *TCH* anterior. Además, se complementó con aspectos personales, la trayectoria científica, los cuestionamientos de

Robert Boyle, el contexto específico en el cual se desarrolló el experimento número V, los procedimientos experimentales que llevó a cabo y sus conclusiones (Ver [Anexo 1](#)).

Posteriormente, en pequeños grupos de estudiantes, se promovió la socialización tomando como base las siguientes preguntas “¿si quisieras apagar una llama?, ¿qué procedimiento realizarías para hacerlo?”, “¿Cuáles son los elementos fundamentales para encender fuego? ¿Qué sucede a nivel macroscópico y nanoscópico si eliminas uno de ellos? ¿Por qué?”, “¿Cómo le explicarías a un amigo lo que es la combustión?”, mediante las cuales se buscaba que los estudiantes explicitaran las ideas que tienen o que han logrado construir.

Sesión 2

El propósito de la sesión consistió en analizar en profundidad el texto titulado: ¿Te imaginas una llama bajo el agua? El objetivo fue permitirles a los estudiantes trabajar con una *SCEP*, con el fin de identificarla, comunicarla y evaluar la experiencia (Camacho y Quintanilla, 2008). En este sentido, se retomó el texto del [Anexo 1](#) con la intención de trabajar a través de los distintos planos de desarrollo en que se formuló inicialmente el problema científico, se adjuntan algunas propuestas de preguntas que el profesorado puede utilizar para guiar el análisis del texto, a través de los tres planos del pensamiento ([Anexo 2](#)):

- *Instrumental – operativo*: ¿Por qué piensas que Boyle se propuso el cuestionamiento central del texto? ¿Cuál es el componente del aire esencial para la combustión? Describe el procedimiento de cómo llevarías a cabo el experimento de Boyle en el laboratorio del colegio. Explica el razonamiento de Boyle, al afirmar que pueden existir partículas de aire entre las partículas del combustible.
- *Personal – significativo*: ¿Cómo definirías la personalidad de Boyle en base al texto? ¿Cómo crees que influyó la personalidad de Boyle en su trabajo como científico? ¿Por qué crees que este problema es importante?
- *Relacional, social o cultural*: Reúnete con dos compañeros y socializa acerca de las conclusiones de Boyle ¿Qué hubieran concluido ustedes sobre el experimento? Socializa con tus compañeros sobre la actividad científica escolar propuesta ¿Cómo la abordaron? ¿Cuáles fueron sus debilidades y fortalezas?

Sesión 3

Esta sesión tuvo el propósito de evaluar y reflexionar la actividad realizada con la intención de permitirles a los estudiantes que continúen elaborando explicaciones. Algunas de las preguntas metacognitivas que se pueden formular son: ¿Qué aprendí con esta actividad? ¿Cómo lo aprendí? ¿Cómo me sentí y por qué? ¿Cuáles fueron las principales dificultades que tuve? ¿Cómo las identifiqué y superé? ¿Qué competencias científicas desarrollé y aprendí? ([Anexo 2](#)).

Consideraciones finales

El proceso analítico del *TCH*, fue importante porque permitió visualizar la integración de los tres elementos propuestos por Pickering, además, adquiere relevancia para continuar aplicándose con el estudio de otros experimentos tanto del mismo Boyle como de otros científicos (Mayow, Hooke, Stahl, Priestley, Cavendish, Lavoisier, entre otros) que elaboraron aportes para la consolidación teórico experimental de la química.

Destacamos en este trabajo el valor que tuvo el estudio de una fuente primaria, como fue el caso del Experimento V de R. Boyle. Además, por medio de la lectura y análisis del *TCH* fue posible reafirmar la visión de ciencia como una actividad profundamente humana donde los juicios de los científicos y científicas son fundamentales.

La incorporación de una problemática a la cual se vio enfrentado un científico en un periodo histórico determinado, en este caso Boyle, constituye una *SCEP* que tiene sentido y valor para ser discutida y trabajada en el aula, previa transposición didáctica de lo obtenido de la fuente primaria. De esta manera se confirma la utilidad de la *HFC* como herramienta a ser utilizada en el aula, a través de diversas estrategias didácticas, las cuales podrían proporcionar nuevas formas de enseñar ciencias, además, facilitar el entendimiento y comprensión de la actividad en química como un elemento cultural más de las comunidades en un contexto histórico determinado, favoreciendo el acercamiento de esta ciencia a los y las estudiantes.

En un próximo documento, se detallarán los resultados obtenidos con los estudiantes después de la incorporación de la *SCEP* en el aula.

Agradecimientos

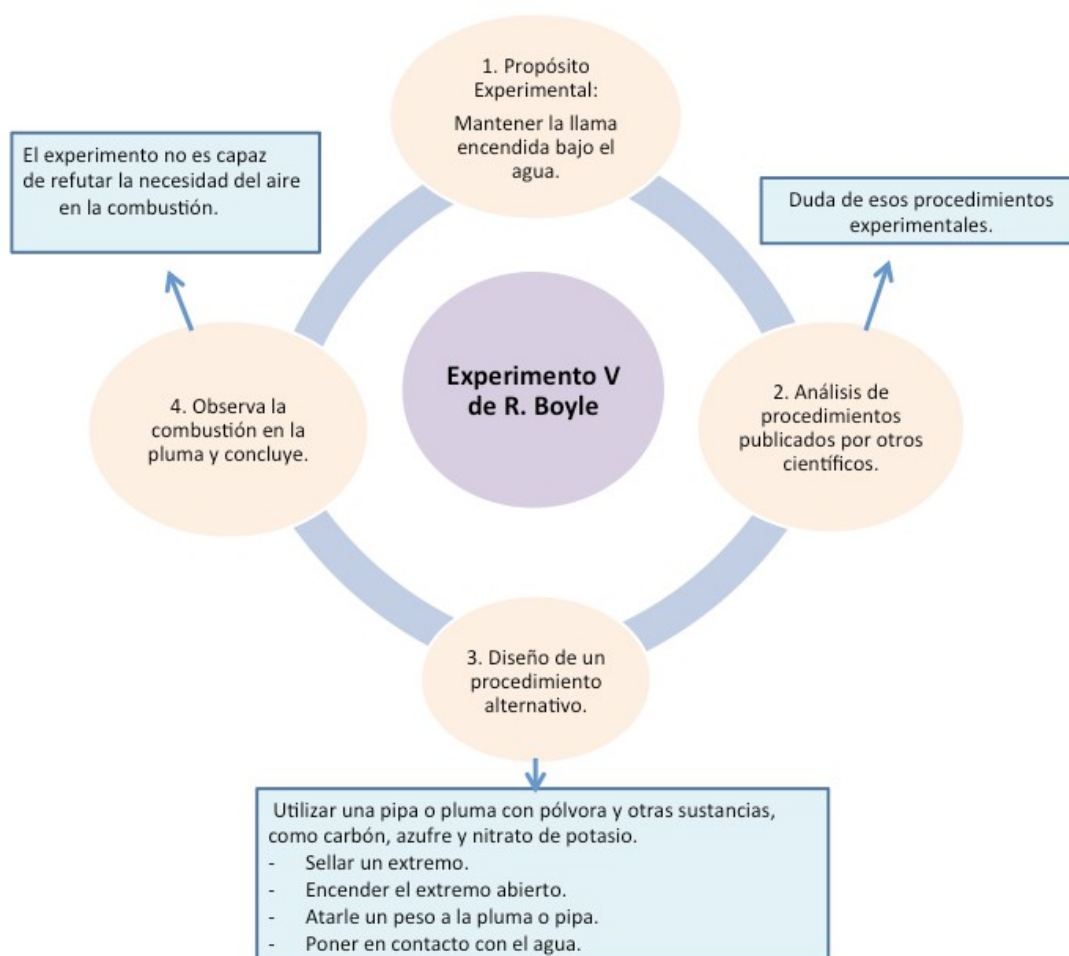
Henry Giovany Cabrera Castillo le agradece por la beca otorgada (Convocatoria 567 – Nacional) y a la Universidad por la comisión de estudio concedida en el marco del Programa de Semillero Docente.

Referencias bibliográficas

- Ayala, M. M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. Construyendo un nuevo espacio de posibilidades. *Pro-Posições*, 17 (1), 19 – 37.
- Bensaude-Vincent, B., y Stengers, I. (1997). *Historia de la química*. Madrid: Addison-Wesley Iberoamérica, S.A.
- Bertomeu, J., y García, A. (2008). La historia de la química: Pequeña guía para navegantes. Parte I: viejas y nuevas tendencias. *An. Quim.* 104 (1), 56 – 63.
- Boyle, R. (1673). Experiment V. Of the conservation of flame under mater. *Tracts written by the honourable Robert Boyle containing new experiments touching the relation betwixt flame and air*.
- Brock, W. (1998). *Historia de la química*. Madrid: Alianza Editorial.
- Cabrera, H. G. (2016). *Aportes a la enseñanza de la química a partir de un estudio histórico filosófico de la experimentación asociada a la combustión para profesores en formación inicial*. Tesis Doctoral. Universidad del Valle.
- Cabrera, H. G., y Quintanilla, M. (2014). Un análisis de la estructura de dos experimentos asociados a la combustión: algunas implicaciones para la formación inicial docente. In M. Quintanilla, S. Daza, y H. G. Cabrera (Eds.), *Historia y Filosofía de la Ciencia. Aportes para una nueva aula de ciencias, promotora de ciudadanía y valores* (pp. 202–216). Bogotá: Belaterra.
- Camacho, J., y Quintanilla, M. (2008). Resolución de problemas científicos desde la historia de la ciencia: retos y desafíos para promover competencias cognitivas lingüísticas en la química escolar. *Ciência & Educação*, 14 (2), 197 – 212.
- Camacho, J. (2011). La historia de la teoría electroquímica y su contribución a la promoción de la explicación científica en la química escolar. *Revista científica*, 14, 8 – 20.
- Camacho, J. (2012). Los modelos explicativos del estudiantado acerca de la célula eucarionte animal. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 9 (2), 196 – 212.
- Cousó, D., y López, J. (2005). El problema dels “problemes”, anàlisi i transformació de l’ enunciat enunciat de problemes de “paper i llapis”. In: Izquierdo, M. (Ed.). *Resoldre problemes per aprendre*. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona, p. 35 – 44.

- Fernández, I., Gil, D., Carrascosa, J., y Cachapuz, A. (2002). Visiones deformadas de la ciencia transmitidas por la enseñanza. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), 477 – 488.
- García, E. G. (2009). Análisis histórico-crítico del fenómeno eléctrico: hacia una visión de campos. Documento de trabajo. Universidad del Valle.
- Garritz, A., y Talanquer, V. (2012). Las áreas emergentes de la educación química: Naturaleza de la química y progresiones de aprendizaje. *Educación Química*, 23 (3), 328 – 330.
- Ihde, A. (1984). *The Development of Modern Chemistry*. New York: Dover Publications, Inc.
- Johnson, D., Johnson R. y Holubec, D. (1999). *El aprendizaje cooperativo en el aula*. Buenos Aires: Editorial Paidós SAICF.
- Labarrere, A., y Quintanilla, M. (2002). La solución de problemas científicos en el aula. Reflexiones desde los planos de análisis y desarrollo. *Pensamiento Educativo*, 30 (1), 121 – 137.
- Latorre, A., del Rinón, D., y Arnal, J. (1996). *Bases metodológicas de la investigación educativa* (Primera Ed.). Barcelona: Grafiques.
- Leicester, H. M. (1967). *Panorama histórico de la Química*. Madrid: Alhambra.
- Leicester, H. M., y Klickstein, H. (1952). *A source book in chemistry 1400 – 1900* (First Edit.). New York: McGraw-Hill.
- Martín-Díaz, M. J. (2013). Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo. *Revista Eureka Sobre Enseñanza Y Divulgación de Las Ciencias*, 10 (3), 291 – 306.
- Moreno, A. (2006). Atomismo versus Energetismo: Controversia científica a finales del siglo XIX. *Enseñanza de las ciencias*, 24 (3), 411–428
- Pickering, A. (1989). Living in the material world. In D. Gooding, T. Pinch, y S. Schaffer (Eds.), *The uses of experiment: Studies in the natural sciences* (First publ., pp. 275 – 298). Cambridge: Cambridge University Press.
- Raynaud, D. (2003). *Sociologie des controverses scientifiques*. París: Presses Universitaires de France.
- Sepúlveda, M. B., González, M. A., Camacho, J., y Quintanilla, M. (2010). Unidad didáctica química orgánica. “El carbono principio y fin de nuestras vidas”. En: M. Quintanilla, C. Merino y S. Daza (compilador). *Unidades Didácticas en química, su contribución a la promoción de competencias de pensamiento científico*. Volúmen 3.
- Solsona, N. (2015). Análisis de las estrategias de autorización de mujeres científicas en la Ilustración. *Revista Física Y Cultura*, 9, 25 – 40.
- Stiefel, B. M. (1996). Aproximación didáctica a textos científicos originales. *Alambique (Versión Electrónica)*, 08, 1–7.
- Zuluaga, C. (2012). Historia y epistemología de la química en la selección y secuenciación de contenidos: la construcción del concepto de átomo. *Revista EDUCyT*, 5, 95 – 116.

Anexo 1



Esquema 1. Descripción de algunos aspectos del Experimento V de Boyle.

Anexo 2

Identificación de problemas científicos y comunicación de significados		
1. Identificación de un "problema científico" (concepto-idea-pregunta-problematizadora)	¿Es posible mantener la llama bajo el agua?	
2. Seleccionar tipología o dimensión del problema	Conceptual	Combustión, gases, aire, combustible, comburente.
	Procedimental	Uso de pluma, pipa y combustibles para realizar el experimento.
	Actitudinal	Juicios, valores, rigor científico.
3. Identificar la teoría científica que subyace (¿qué modelo teórico que quiere enseñar?)	Teoría de la combustión.	
4. Identificar el plano de desarrollo en que está formulado inicialmente el problema científico desde la Historia de la Ciencia	Instrumental – Operativo	¿Por qué piensas que Boyle se propuso el cuestionamiento central del texto? ¿Cuál es el componente del aire esencial para la combustión? Describe el procedimiento de cómo llevarías a cabo el experimento de Boyle en el laboratorio del colegio. Explica el razonamiento de Boyle, al afirmar que pueden existir partículas de aire entre las partículas del combustible.
	Personal – Significativo	¿Cómo definirías la personalidad de Boyle en base al texto? ¿Cómo crees que influyó la personalidad de Boyle en su trabajo como científico? ¿Por qué crees que este problema es importante?
	Relacional, social o cultural.	Reúnete con dos compañeros y discutan acerca de las conclusiones de Boyle ¿qué hubieran concluido ustedes del experimento? Discute con tus compañeros sobre la actividad científica propuesta, cómo la abordaste y cuáles fueron tus debilidades y fortalezas.
Evaluación de la experiencia con los y las estudiantes		
1. ¿Qué aprendí con esta actividad? Y ¿cómo lo aprendí?		
2. ¿Cómo me sentí y por qué?		
3. ¿Cuáles fueron las principales dificultades que tuve, cómo las identifiqué y superé?		